

# Estimación de emisiones contaminantes de las fuentes móviles en la ciudad minera de Pasco empleando el modelo IVE

Estimation of pollutant emissions from mobile sources in the mining city of Pasco using the IVE model

Nilda Hilario Román\*, Daniel Lovera Dávila\*\*

Recibido: 09/05/2011

Aprobado: 20/05/2011

## RESUMEN

El presente estudio muestra las estimaciones de emisiones provenientes de fuentes móviles de los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, en la provincia y departamento de Pasco. La metodología se basa en el Modelo Internacional IVE que estima los contaminantes atmosféricos en función de tres componentes como: 1) factores de emisión, 2) actividad vehicular, y 3) distribución de la flota vehicular. Fue necesaria la recolección de datos del parque automotor en el área mencionada para cuantificar los componentes y así obtener un inventario de emisiones. Los resultados de la emisión de contaminantes son los siguientes: CO es de 24 047.31 Kg/día, NO<sub>x</sub> es de 2 309.49 Kg/día, COV es de 1 602.19 Kg/día, SO<sub>x</sub> es de 119.76 Kg/día y PM es de 32.81 Kg/día, para una población vehicular de 4500 unidades y una magnitud de recorrido promedio de 527 362 Km. En conclusión las fuentes móviles emiten 28.11 TM/día de contaminantes atmosféricos y se tiene al CO como el contaminante que se emite en mayor cantidad con un promedio de 24.05 TM/día, o una tasa de emisión diaria promedio de 45 g/Km recorrido y la fuente principal lo constituyen los vehículos Station Wagon que emiten 18 649.52 Kg/día.

A la altura de 4349 msnm se tiene una presión de 331.75 mm Hg y con la presencia elevada de emisiones contaminantes de CO, NO<sub>x</sub> y COV debido a la combustión incompleta en los vehículos que en su mayoría utilizan gasolina de 90 octanos, el ser humano principalmente la población vulnerable puede verse afectada sus vías respiratorias en forma dramática, debido a mayor esfuerzo que realizan en el proceso de respiración propiciando el ingreso de agentes contaminantes a su organismo. A medida que aumenta la altitud, disminuye la presión de oxígeno.

**Palabras clave:** compuestos orgánicos volátiles, smog, contaminantes criterio, contaminantes primarios, contaminantes secundarios, inventarios de emisiones

## ABSTRACT

The current study shows the emission's estimations that come from mobile sources in the districts of Chaupimarca, Yanacancha and Simón Bolívar, in the Province and Department of Pasco. The methodology is based on the IVE International Model that estimates atmospheric pollutants as a function of three components: 1) Emission factors, 2) Mobile activity, and 3) Distribution of vehicle fleet. It was necessary the collection of data from the automobiles parking in the mentioned area in order to quantify the components to obtain an emission's inventory. The results of the pollutant's emissions are as follows: CO is 24 047.31 Kg/day, NO<sub>x</sub> is 2 309.49 Kg/day, COV is 1 602.19 Kg/day, SO<sub>x</sub> is 119.76 Kg/day and PM is 32.81 Kg/day, for a population of 4500 vehicles and average run magnitude of 527 362 Km. In conclusion, the mobile sources emit 28.11 TM/day of atmospheric pollutant, and the CO is the pollutant that is emitted in a greater amount with an average of 24.05 TM/day or in a daily emission's rate of 45g/Km per run, and the main sources for this are the Station Wagon vehicles which emit 18 649.52 Kg/day.

The altitude of 4349 masl has a pressure of 331.75 mm Hg and has a high presence of pollutant's emissions of CO, NO<sub>x</sub> and COV due to the incomplete combustion of the vehicles that mostly use 90 octane gasoline. In case of human beings, mainly vulnerable people can have affected their respiratory system in a dramatic way, due to the greater effort that human beings make for the respiration process causing the consumption of pollutant agents in their organism. As altitude increases, the oxygen pressure decreases.

**Keywords:** volatile organic compounds, smog, criteria pollutants, primary pollutants, secondary pollutants, emission's inventory

\* Escuela de Agronomía, Sede Yanahuanca. Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNDAC. E-mail: nildish8@hotmail.com

\*\* Profesor Principal de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica - UNMSM. E-mail: dloverad@unmsm.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

En el mundo la preocupación de todos es la contaminación ambiental y el calentamiento global de la tierra. Las diversas actividades del hombre vienen agudizando este problema. El artículo 2° inciso 22 de la Constitución Política del Perú establece que es deber primordial del Estado garantizar el derecho de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Así mismo, el Artículo 67° señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales (Protocolo de monitoreo de la calidad del aire (DIGESA, 2005).

Siendo políticas de Estado, el año 2001-2002 se instalan las GESTAS Zonales del Aire y del año 2002 al 2004 se realizan el diagnóstico de línea de base en trece ciudades: Piura, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, Lima, Pisco, Arequipa, Iquitos, Cerro de Pasco, La Oroya, Cusco e Ilo, según D.S. N.° 074-2001-PCM, producto de estas investigaciones se declara en estado de alerta 5 ciudades: Arequipa, Lima, La Oroya, Ilo y Chimbote para contaminantes críticos (CGTA U. AGRARIA, 2010).

En la ciudad de Cerro de Pasco las estaciones de monitoreo no están en funcionamiento, presentan limitaciones por las condiciones ambientales consecuentemente no se realizan mediciones de gases contaminantes, limitándose a metales y material particulado. La relación que existe entre la salud, el medio ambiente y el desarrollo es evidente, siendo el mayor reto hacer frente a la contaminación ambiental

y atmosférica con mecanismos eficaces y sostenibles, en esa medida en este estudio se dan a conocer los estimados de emisiones contaminantes de: CO; COV; NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COV<sub>evop</sub> y PM provenientes de las fuentes móviles. Es necesario realizar inventario de emisiones para la observación de la tendencia de la contaminación a largo plazo, asegurar su actualización permanente y su fiabilidad.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas: mediciones de campo y tratamiento en gabinete.

### 2.1. Metodología de Campo

El área de influencia del estudio está comprendida entre los distritos de Simón Bolívar, Chaupimarca y Yanacancha, como se muestra en la Figura 1, se ubica en la Provincia y Departamento de Pasco. Las altitudes dentro del área de estudio comprende, Chaupimarca a 4 384 msnm, Yanacancha 4 356 msnm, y Simón Bolívar a 4 314 msnm La temperatura media anual es 5.5 °C, la humedad relativa promedio anual es 81%. El régimen de precipitación mensuales presenta valores en el rango de 19.20 mm a 186.00 mm., los vientos predominantes son de dirección de NE, y la velocidad promedio anual de viento es de 2,27 m/s. Actividades económicas: zonas mineras que se explota por minado subterráneo y a cielo abierto, comercio, producción de bienes y el transporte público.

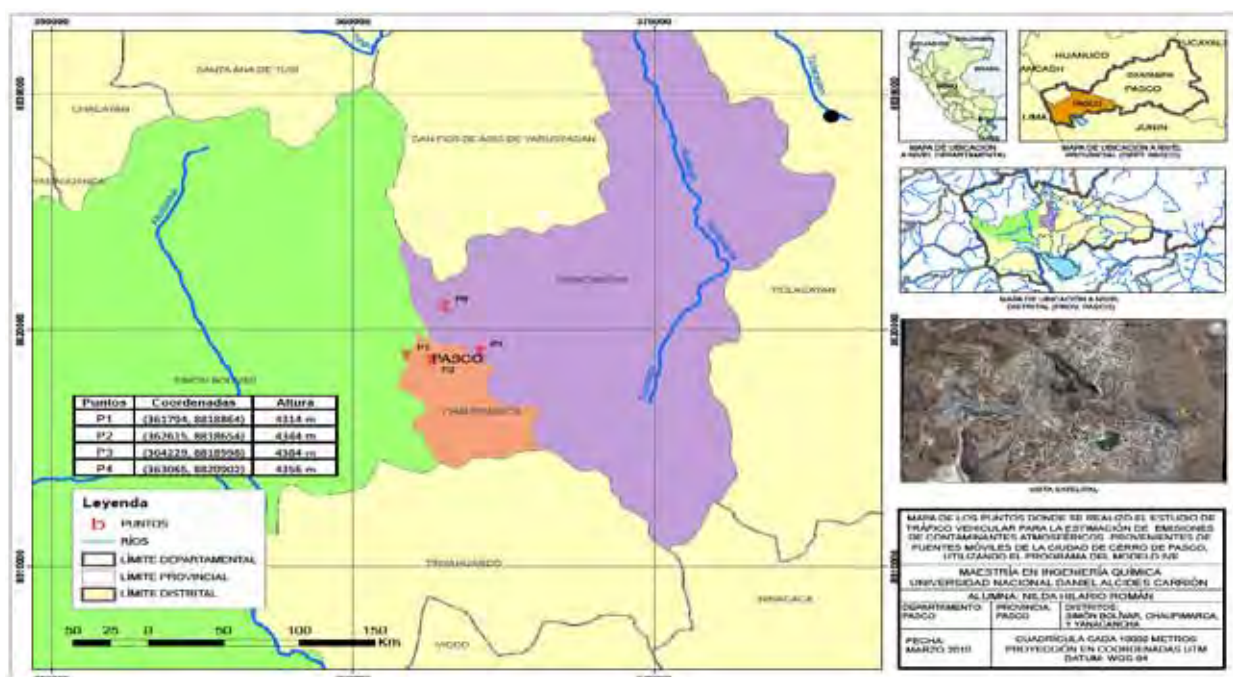


Figura N.º 1. Mapa donde se indica área de influencia del Estudio.

Para la estimación de emisiones contaminantes atmosféricas provenientes de fuentes móviles, utilizando el programa del modelo IVE (Lovera, 2004), se realizó una serie de actividades que a continuación explicamos.

## 2.2. Población vehicular

Se realizó un inventario de las fuentes móviles existentes en la zona de estudio, se consideró la clasificación por categorías establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Para obtener información sobre el transporte público urbano, privado e interprovincial se recurrió a la Municipalidad Provincial de Pasco, Superintendencia Nacional de Registros Públicos SUNARP, al Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones Pasco. La población vehicular en la ciudad es aproximadamente 4 500 unidades.

A partir de la población determinada mediante el conteo vehicular, se procede a calcular el tamaño de muestra, como se indica en la Tabla 1, mediante fórmulas estadísticas, considerando un 5% de error y un nivel de significancia de 95%. El tipo de muestra a aplicar es mediante el tipo de muestra aleatoria.

## 2.3. Estudio del flujo vehicular y aplicación de encuestas

Se debe indicar que la estimación más exacta de las emisiones a la atmósfera se realiza mediante la determinación de las fracciones de las clases de tecnología de vehículos que operan en las calles de la ciudad y flujo vehicular. Es necesario realizar una grabación del parque automotor en la ciudad,

Tabla N.º 1. Tamaño de muestra del parque automotor.

| N.º   | Categoría vehicular | Población<br>N.º Unidades | Tamaño de<br>Muestra |
|-------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| 1     | Automóvil           | 705                       | 56                   |
| 2     | Station Wagon       | 2184                      | 172                  |
| 3     | Camionetas Pick Up  | 459                       | 36                   |
| 4     | Camioneta Rural     | 538                       | 43                   |
| 5     | Ómnibus             | 128                       | 10                   |
| 6     | Camión              | 238                       | 19                   |
| 7     | Remolcador          | 29                        | 2                    |
| 8     | Motos               | 219                       | 17                   |
| TOTAL |                     | 4500                      | 355                  |

Fuente: Hilario (2010).

ubicando la cámara en los cuatro puntos de estudio como se indica en la Tabla 2, posteriormente se analizó la grabación y se realizó el conteo vehicular por categoría, obteniéndose la distribución vehicular por categorías como se muestra en la Figura 2, paralelamente se realizó las encuestas.

Tabla N.º 2. Lugares donde se ubicó la cámara de grabación y realizó encuestas.

| Punto | Calle/Avenida                               | Ubicación     |
|-------|---------------------------------------------|---------------|
| 01    | Av. Las Malvinas (Way)                      | Simón Bolívar |
| 02    | Av. Carretera Central (Túpac Amaru)         | Chaupimarca   |
| 03    | Jr. Lima y Av. A. Rivera                    | Chaupimarca   |
| 04    | Av. Daniel A. Carrión y<br>Av. Los Próceres | Yanacancha    |

Fuente: Hilario (2010).



Figura N.º 2. Distribución vehículos por categoría

La información de las tecnologías de los vehículos se obtuvo mediante la aplicación de las encuestas a los conductores de vehículos estacionados, para el caso de ómnibus las encuestas se realizaron en el Terminal.

## 2.4. Diseño del formato de encuesta

Para la elaboración del formato de encuesta se revisó el manual del usuario del Modelo IVE versión 2.0 y se realizó un listado de información necesario para calcular la emisiones, se diseñó el formato con la colaboración de un docente técnico en mecánica automotriz toda vez que el proceso de estimar emisiones en el modelo IVE, requieren de las informaciones específicas como: características de conducción (magnitud de conducción, perfiles de velocidad y aceleración), patrones de partida (cantidad de partidas, tiempo en que el motor ha estado apagado antes de una partida), distancia promedio anual de recorrido, programas de inspección y mantenimiento, condiciones ambientales, distribución de tecnología vehicular (año de fabricación, tamaño del cilindro,

tipo de transmisión, funcionamiento del catalizador, modelo, y otros), y características de combustible. Los datos obtenidos del proceso de recolección posteriormente, fueron procesados, analizados para realizar el cálculo.

## 2.5. Cálculo de emisiones utilizando el programa del modelo IVE

El proceso de estimación de emisiones en el modelo IVE consiste en multiplicar factores de emisión (Q) por la distancia vehículo para cada tecnología (D), como se indica en la ecuación (1).

$$E = Q * D \quad (1)$$

Para estimar los factores de emisión corregidos se muestra en la ecuación (2), esta ecuación multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección para localidades específicas (K) para estimar los ajustes del factor de emisión (Q) para cada tipo de vehículo.

$$Q[t] = B[t] * K(1)[t] * K(2)[t] * \dots * K(x)[t] \quad (2)$$

La Base de factores de emisión está compuesta por dos tipos de emisiones, emisiones en ruta y emisiones por partida. La ecuación (3 y 4) pondera los factores de emisión por modo de conducción.

$$Q \text{ en ruta} = \sum t \{ f[t] * \sum d [Q[t] * \bar{U}_{FTP} * f[dt] * K[dt]] \} / \bar{U}_C \quad (3)$$

$$Q \text{ partida} = \sum t \{ f[t] * Q[t] * \sum d [f[dt] * K[dt]] \} \quad (4)$$

La Tabla N.º 3 describe las variables utilizadas en las ecuaciones de factores de emisión del modelo IVE.

## III. RESULTADOS

La conducción diaria total en la ciudad de Cerro de Pasco es 527 362 kilómetros y con una flota de 4500 vehículos. La Tabla 4 muestra el resultado de estimación de emisiones de contaminantes generadas por los vehiculares en Kg/día calculadas mediante el programa del modelo IVE.

La Figura N.º 3 muestra los contaminantes que son emitidos en mayor cantidad a la atmosfera el CO, representado el 85.47%; los NO<sub>x</sub>, representado el

Tabla N.º 3. Variables utilizadas en las ecuaciones de factores de emisión.

| Variable         | Descripción                                                                                                         |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B <sub>[t]</sub> | Base de factores de emisión para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))                             |
| Q <sub>[t]</sub> | Factores de emisión ajustados para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))                           |
| f <sub>[t]</sub> | Fracción de viaje por tecnología específica                                                                         |
| f <sub>[a]</sub> | Fracción de tiempo por cada tipo de conducción o fracción de tiempo soak por tecnología específica                  |
| $\bar{U}_{FTP}$  | Velocidad Promedio del ciclo de conducción LA4 (una constante (kph))                                                |
| $\bar{U}_C$      | Velocidad Promedio del ciclo de conducción específico, valor ingresado por el usuario en el archivo Localidad (kph) |

Fuente: (www.issrc.org/ive, 2008)

Tabla N.º 4. Resultado de emisiones de contaminantes generadas por los vehiculares en Kg/día.

| Categoría         | Emisiones (Kg/día) |         |          |         |        |       |
|-------------------|--------------------|---------|----------|---------|--------|-------|
|                   | CO                 | COV     | COV evap | NOx     | SOx    | PM    |
| Station Wagon     | 16349.52           | 879.88  | 33.26    | 1324.09 | 52.99  | 9.78  |
| Camioneta Pick up | 592.12             | 53.34   | 0.61     | 164.77  | 24.59  | 5.51  |
| Ómnibus           | 4.87               | 0.71    | 0        | 13.43   | 1      | 1.78  |
| Camión            | 7.01               | 1.01    | 0        | 30.53   | 4.01   | 1.39  |
| Camioneta rural   | 1191.34            | 131.15  | 1.38     | 281.2   | 29.33  | 6.11  |
| Motos             | 755.51             | 179.6   | 7.15     | 4       | 0.01   | 5.36  |
| Automóvil         | 5146.94            | 304.35  | 9.75     | 491.47  | 7.83   | 2.88  |
| Total             | 24047.31           | 1550.04 | 52.15    | 2309.49 | 119.76 | 32.81 |

Fuente: Hilario (2010).

8.21% y los COV representado el 5.69 % del total de las emisiones.

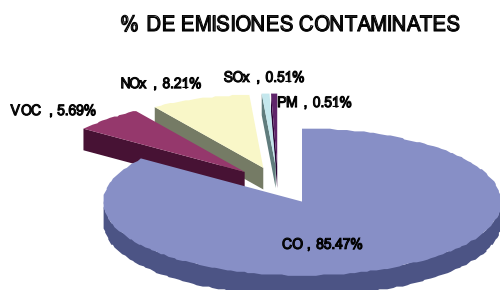


Figura N.º 3. Porcentaje de Emisiones totales de contaminantes emitidos.

La Figura N.º 4 muestra las emisiones contaminantes de los station wagon y automóviles, presentan el 66.29 y 21.19 % del total, llegando a emitir más del

87.48% de las emisiones totales causadas por este tipo de fuente de contaminación.

La Figura N.º 5 muestra las emisiones de: CO, COV, COV<sub>evap</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y PM provenientes de las diferentes categoría vehicular, estos resultados indican que el monóxido de carbono (CO), son mayormente emitidos por los station wagon y automóviles con 67.99% y 21.40%. Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son mayormente emitidos por los station wagon con 56.76 %, automóviles con 19.63% y moto con 11.59%. En el caso de los COV<sub>evap</sub> la situación es similar, los Station Wagon generan 63.78%, automóviles 18,70% y motos 13,71%. La principal fuente de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son los Station Wagon con 57.33% y automóviles con 21.28%. Los óxidos de azufre son mayormente emitidos por Station Wagon con 44.25% y camioneta rural con 24.49% y, la fuente principal de material particulado (PM) son los Station Wagon con 29.81% y camioneta rural con 18.62%. Lo mencionado se puede corroborar con la Tabla N.º 4, se puede apreciar la contribución de emisiones de las demás categorías que emiten en menor nivel.

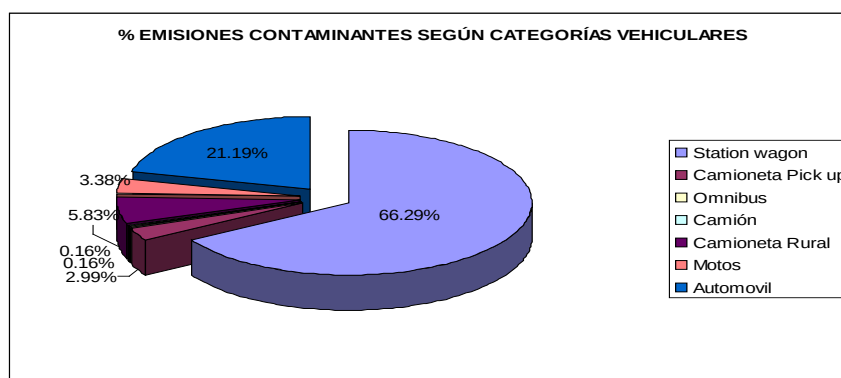


Figura N.º 4. Porcentaje de emisiones totales por categorías vehiculares

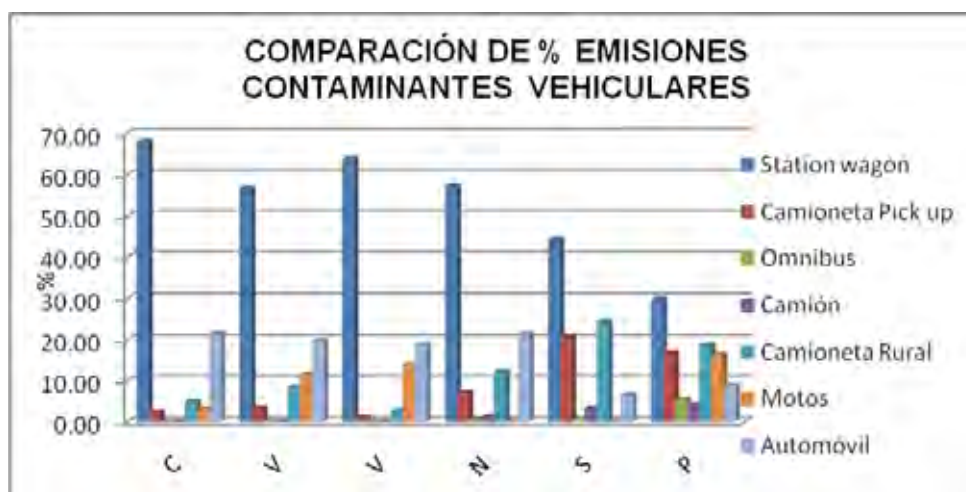


Figura N.º 5. Contribución de emisiones contaminantes en el aire de cada categoría de vehículos.

#### IV. DISCUSIÓN

- El Modelo IVE mejora la precisión de los resultados del inventario de las emisiones al aire toda vez que calcula factores de emisión compatibles con los hábitos locales de conducción, inspección y mantenimiento, tipos de ruta, condiciones climáticas predominante entre otros.
- Mientras que la Metodología de Evaluación rápida de la OMS “Evaluación de fuentes de contaminantes del aire” (Economopoulos, 1993) emplea factores de emisión adecuados de cargas de residuos que reflejen la experiencia de la me-

dicación de fuentes similares, generalmente estos factores fueron obtenidos en los países industrializados. La metodología de la OMS utilizó factores de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), por ser más representativa para la mayoría de los países. La Figura N.º 6 muestra la contribución de las emisiones contaminantes al aire de diferentes ciudades. Se puede apreciar que la ciudad de Lima es la que emite en mayor cantidad, esto se debe a su mayor población vehicular, se debe indicar los estudios realizados en la ciudades indicadas fueron en diferentes años (CEPIS, 2004).

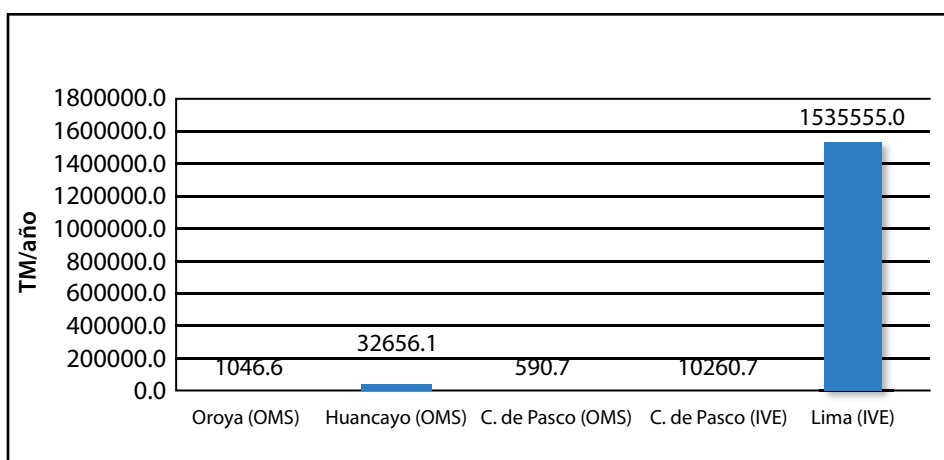


Figura N.º 6. Emisiones contaminantes del parque automotor de ciudades.

Fuente: GESTA AIRE-Huancayo, 2005; GESTA AIRE- C. de Pasco, 2002; Cárdenas, Landeo - Oroya 2006; Lima Vehicle Activity Study", 2004.



Figura N.º 7. Vista panorámica de la ciudad de Pasco.

## V. CONCLUSIONES

1. La población vehicular en la ciudad de Cerro de Pasco es aproximadamente 4500 unidades, la conducción total diaria es 527 362 kilómetros. Las fuentes móviles emiten 28.00 TM/día de contaminantes atmosféricos, de los cuales es el CO el que se emite en mayor cantidad con 24.05 TM/día.
2. El CO es el contaminante que se emite en mayor cantidad con una tasa de emisión diaria promedio de 45 g/Km recorrido. La principal fuente de contaminación la constituye los Station Wagon que emite 18 649.52 Kg/día.
3. Los  $\text{NO}_x$  es el segundo contaminante emitido con una tasa de emisión diaria promedio de 4.38 g/Km recorrido. Los COV se ubican en el tercer orden de cantidad de emisiones con una tasa de emisión diaria promedio de 2.93 g/Km recorrido. Los  $\text{COV}_{\text{evap}}$  presenta una tasa de emisión diaria promedio de 0.1 g/Km recorrido. El  $\text{SO}_x$  presenta una tasa de emisión diaria promedio de 0.23 g/Km recorrido y el PM presenta una tasa de emisión diaria total promedio de 0.062 g/Km recorrido.
4. A una altura de 4349 msnm se tiene una presión de 331,75 mm Hg y las mayores emisiones contaminantes de CO,  $\text{NO}_x$  y COV se deben a la combustión incompleta de los combustibles, la mayor población vehicular utiliza de combustible la gasolina de 90 octanos. A medida que aumenta la altitud, disminuye la presión de oxígeno, el ser humano principalmente la población vulnerable puede ver afectada sus vías respiratoria en forma dramática, debido a que realizan mayor esfuerzo en el proceso de la respiración propiciando el mayor ingreso de agentes contaminantes.
5. El 70 % de flota de vehículos Station Wagon son mayores a 9 años de antigüedad de la misma manera en el caso de los automóviles el 80% tiene una antigüedad mayor a 9 años, son vehículos que emiten mayores cantidades de contaminantes al aire debido a que su sistema de alimentación es tradicional (mecanizada), son carburados y de inyección mecánica.
6. Los vehículos de importación que provenían del Japón hace dos años, llegaron a nuestro país cumpliendo su vida útil de recorrido de 100 mil a 150 mil kilómetros. En nuestro país continúan su funcionamiento hasta superar su recorrido

de 300 mil a 400 mil km, excediendo su vida útil consecuentemente estos vehículos producen mayores emisiones contaminantes y parte del parque vehicular de la Ciudad de Cerro de Pasco pertenece a esa flota.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2004). "Guías para la calidad del aire", Organización Mundial de la salud (OMS).
2. Centro para la investigación y tecnología ambiental (CE-CERT) (2008). "Manual del Modelo IVE, Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación del Sistema Sustentable Global (GSSR), y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentable Internacionales (ISSRC).
3. Dirección Regional Salud Pasco, Unidad de Ecología y Medio Ambiente, Dirección Ejecutiva Salud Ambiental (2002). "Informe final del inventario de fuentes móviles de la ciudad de Cerro de Pasco", GESTA AIRE
4. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de Datos (2005). Decreto Supremo N.º 1404-2005- DIGESA.
5. Economopoulos, A. (1993). "Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire, Técnicas para el inventario rápido de la contaminación ambiental, serie de tecnología ambiental del OMS", Ginebra
6. Hilario Román N. (2010). Tesis "Estimación de Emisiones Contaminantes Provenientes de Fuentes Móviles de la Ciudad de Cerro de Pasco utilizando el Modelo IVE".
7. Programa de Especialización (2010). "Monitoreo y evaluación de la calidad ambiental" (CGTA), Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
8. (<http://www.issrc.org>), (<http://www.gssr.net/>), (<http://www.uchile.cl>) (2004). "Lima vehicle activity study".
9. Daniel Lovera, Mauricio Osses *et al.* (2004), Modelo IVE: Metodología, Mediciones y Simulación de las Emisiones de Fuentes Móviles en la Ciudad de Lima – Perú. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG – UNMSM. Vol. 7, N.º 14, pp. 92-99.